بررسی تطبیقی شاخصهای کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانهٔ کارون و دز

ابوالفضل شمسایی[۱] صادق اورعی زارع[۲] امین سارنگ[۳]

(دریافت ۸۴/۴/۵ پذیرش ۸٤/۹/۳)

چکیده

شاخصهای کیفی آلودگی یکی از روشهایی است که در مدیریت کیفی آب می‌توان از آن به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیریهای مربوطه استفاده کرد. در این مقاله پس از بررسیهای انجام شده توسط شاخصهای کیفی و آلودگی آب بر روی رودخانهٔ کارون و دز، مشخص شد در مواردی که حساسیت زیادی در قبال تصمیم‌گیریها وجود ندارد و یا این حساسیت در استانداردهای محلی گنجانده شده است، و نیز در صورت وجود تعداد ایستگاههای مناسب و دفعات اندازه‌گیری کافی درمحلهای مناسب، استفاده از شاخص BCWQI مفید است؛ اما هنگامی که یک یا چند پارامتر ویژه بر روی تصمیم‌گیریهای اخذ شده از شاخص مربوطه تأثیر قابل توجهی داشته باشد، به دلیل دخالت مستقیم پارامترهای اندازه‌گیری شده در ساختار زیرشاخص و شاخص کل و در نظر گرفتن اثر وزن برای مورد توجه قرار دادن این حساسیت، استفاده از $NSFWQI_m$ ترجیح داده می‌شود. نحوهٔ به کار بردن شاخص OWQI نیز مانند $NSFWQI_m$ می‌باشد با این تفاوت که کلیه پارامترها از اثر و اهمیت یکسانی در تصمیم‌گیری براساس میزان شاخص، برخوردار هستند. لازم به ذکر است که تحقیقات یاد شده براساس آمارگیری ماهیانه در سه سال ۱۳۸۱ ، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ انجام شده است.

واژه‌های کلیدی *: شاخص زیست محیطی ، شاخص کیفی آب ، نمایانگر زیست محیطی ، NSFWQI ، OWQI , BCWQI.*

۱- استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف Shamsai@Sharif.edu
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-آب، دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران - Sadegh-oraei@gmail.com
۳- دانشجوی دکترای عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

The Comparison of Water Indices and Zoning Quality in Karoon and Dez Rivers

Aboulfazl Shamsaei[1], Sadegh Oreei Zareh[2] and Amin Sarang[3]

Abstract

One of the methods can be use in water quality management as a strong tool for decision making is Water Quality Indices. In this article the water quality indices for Karoon and Dez rivers were determined. Where there is less reaction to dicision or this reaction considered in local guideline and also at the times which there are adequate stations and enough sampling frequencies at the right stations, the use of BCWQI indice is recommended. Howere, when one or a few specific parameters are dominated on the decision and these parameters affect directly the infrastructure of sub-indices or total indices and also considering the effect of weighting rate on the reaction the use of NSFWQIm is preferred. The method of using OWQI is the some as NSFWQI with the difference of all parameters have equal value in decision making. The study was carried out during three years started from 2001 and statistical data were taken montly.

Keywords: *Water Quality Indices, Environmental Indicator, NSFWQI, OWQI, BCWQI, Environmental Management.*

1- Prof. Dept. of Civil Engineering, Sharif University- Shamsai@Sharif.edu
2- M.Sc. Student, Azad University, Tehran Science and Research Unit- Sadegh-oraei@gmail.com
3- Ph.D Student, Dept. of Civil Engineering, Sharif University

همراه با پیشرفت و توسعه فناوری، اطلاعات فراوان‌تر و آسانتری در زمانی کوتاه‌تر در اختیار انسان قرار می‌گیرد. در مبحث آگاهی از شرایط کیفی و یا آلودگی آبهای سطحی نیز، باید اطلاعات مربوطه را پردازش کرده و نتیجه خلاصه شدهٔ آن برای کاربردهای مختلف به متخصصان ارائه گردد. یکی از روشهای بسیار ساده و دور از پیچیدگیهای ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخصهای کیفی آب[1] می‌باشد.

قبل از ورود به این بحث لازم است به تعاریفی نظیر متغیر آلودگی[2] و نمایانگر زیست محیطی[3] بپردازیم. متغیر آلودگی به ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که در ارتباط با آب باشد، اطلاق می‌گردد. اصطلاح نمایانگر زیست محیطی نیز به کیفیتی اطلاق می‌شود که از یک متغیر آلودگی به وجود آمده و برخی از خواص کیفی زیست محیطی را بیان می‌نماید. نمایانگر زیست محیطی به صورت مجزا و یا با برخی از روشهای جمع‌بندی ریاضی برای یک مسئله به کار برده می‌شود [۱].

با توجه به اهمیت آب و مسائل مربوط به آن، شمار زیادی از شاخصهای زیست محیطی در طول سالهای گذشته توسط سازمانها و موسسات مختلف، اعم از دولتی و یا خصوصی پیشنهاد شده است به طوری که در دههٔ آخر قرن بیستم علاقه‌مندی زیادی در زمینه ایجاد ویا بهبود شاخصهای کنترل کیفی آب براساس شرایط موجود ایجاد شده است. یکی از روشهایی که باعث بهبود شاخصهای قدیمی می‌گردد، مقایسه این شاخصها با یکدیگر است. در این میان اولین مقایسه بین شاخصهای کیفی آب توسط آت[4] در سال ۱۹۷۱ انجام شد. وی به مقایسه دو شاخص که توسط لَندور[5] و دنینگر[6] به وجود آمده بود، پرداخت و باعث ایجاد تجدیدنظر بر روی شاخصهای کیفی به کار برده شده در آمریکا گردید [۲].دو شاخصی که توسط این افراد ارائه گردید، در دسته شاخصهای عمومی و شاخصهای مصارف ویژه قرار می‌گیرند. نظیر چنین تحقیقاتی در کشورهای اروپایی نیز انجام شد. بروکل[7] و هلموند[8] با نتایجی که از تحقیقات خود در مورد شاخصهای زیست محیطی گرفتند، ثابت کردند که حدود ۳۰ شاخص را می‌توان به صورت مشترک در سراسر جهان برای تشخیص حالات کیفی آب به کار برد. آنها همچنین نشان دادند که تمامی این شاخصها در برگیرنده ۳ تا ۷۲ متغیر می‌باشند که در حدود ۳ پارامتر آن از بین متغیرهای pH, NO_3+N, PO_4+P, NH_4+N و ذرات جامد (TS) می‌باشند [۱].

با توجه به اهمیت این موضوع، در سایر نقاط جهان نیز مطالعات و تحقیقات زیادی به همین شیوه انجام گرفت. از جمله می‌توان به شاخصهای ایجاد شده توسط استنباک گیلژانف[9] در سال ۱۹۹۹ در کرواسی، کوپر[10] در سال ۱۹۹۴ و ریچاردسون[11] در سال ۱۹۹۷ در آفریقای جنوبی و به خصوص در استرالیا اشاره کرد.همچنین در سال ۱۹۹۸ در آمریکای مرکزی پیشرفتهای قابل توجهی در راستای ایجاد شاخصهای کیفی توسط لئون[12] و ریچاردسون در این زمینه حاصل گردید [۱]. در حال حاضر نیز تحقیقات زیادی به همین روش در مناطق مختلف جهان برای ایجاد شاخصهای کیفی آب انجام می‌شود. در ایران نیز شاخصهای کیفی آب مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این بررسیها، مطالعات و تحقیقاتی می‌باشد که در سال ۱۳۷۷ توسط تجریشی و نوروزیان با استفاده از تکنیک طبقه‌بندی فازی بر روی رودخانه‌های کارون و دز انجام شد و این رودخانه مورد پهنه‌بندی کیفی قرار گرفت [۳].

علاوه بر این، تحقیقاتی نیز توسط مؤسسات و شرکتهای تحقیقاتی و مشاوره‌ای نیز انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به شرکت مهندسین مشاور دز آب اشاره کرد که عهده‌دار مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی منابع آب و نیرو و کیفیت آب در کل بازه‌های رودخانه کارون و دز است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- ساختار ریاضی شاخصهای کیفی

دو فرم اصلی و ابتدایی برای شاخصها وجود دارد:

- شاخصهایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها افزایش می‌یابد، با نام شاخص آلودگی شناخته می‌شوند و
- شاخصهایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها کاهش می‌یابد، با نام شاخص کیفی شناخته می‌شوند.

در یک چهارچوب کلی، محاسبه یک شاخص در دو مرحله اساسی صورت می‌گیرد:

[1] Water Quality Indices
[2] Pollution Variable
[3] Enviromental Indicator
[4] Ott
[5] Land Wehr
[6] Deninger
[7] Breukel
[8] Helmond
[9] Stunbuk Giljanove
[10] Coper
[11] Richardson
[12] Leon

جدول ۱- مشخصات ریاضی شاخصها

تابع جمع بندی	شاخص بامقیاس افزایشی	شاخص با مقیاس کاهشی
جمع خطی	تاریکی- بدون ابهام	بدون تاریکی-ابهام
جمع وزنی	تاریکی- بدون ابهام	تاریکی بدون ابهام
ریشه-جمع- توان	تاریکی- بدون ابهام	با تمایل به سمت بی نهایت حداقل تاریکی و ابهام
شکل ترکیبی- محصول وزنی	بدون تاریکی- بدون ابهام بدون تاریکی — بدون ابهام	غیر قابل کاربرد
اپراتور مینیمم	غیر خطی اگر فاکتورهای وزنی کوچک باشد	غیر قابل کاربرد

مرحله اول، محاسبه زیرشاخصها بر اساس متغیرهای آلودگی به کار رفته در شاخص و مرحله دوم، جمع‌بندی زیرشاخصها برای به دست آوردن شاخص کلی.

توابع زیرشاخصها را می‌توان به صورت چهار دسته عمومی تقسیم‌بندی کرد:

الف- خطی　　ب- غیرخطی

ج- خطی قطعه‌ای　　د- غیرخطی قطعه‌ای

جدول ۱ بیان کنندهٔ انواع روشهای جمع‌بندی زیر شاخصها، برای ایجاد شاخص کل می‌باشد.

مهم‌ترین مسئله‌ای که در ساختار توابع جمع‌بندی زیر شاخصها باید به آن توجه شود، مشکل ناحیه ابهام و تاریکی است. وجود ناحیه ابهام در یک شاخص به این مفهوم است که شاخص کلی، وضعیت ضعیف زیست‌محیطی را نشان می‌دهد بدون آنکه هیچ کدام از زیرشاخصهای آن به مرحله ضعیف رسیده باشند. مسئله تاریکی نیز زمانی رخ می‌دهد که حداقل یکی از شاخصها، شرایط ضعیف زیست‌محیطی را نشان دهد ولی شاخص کلی این شرایط ضعیف را نشان ندهد [۴ و ۵].

۲-۲- شاخص کیفی BCWQI[1]

شاخص کیفی BCWQI به عنوان یک شاخص افزایشی، در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط زیست، پارک‌ها و زمین کانادا برای ارزیابی کیفیت آب ایجاد شد. در این روش، پارامترهای کیفی آب با یک حد معین سنجیده شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌گردد. این حد می‌تواند رهنمودهای توصیه شده برای حفظ قابلیت بهره‌برداری آب در طراحی مورد نظر و یا هر استانداردی که میزان مصارف مختلف آب در آن مطرح است را در بر گیرد. بنابراین یکی از مزایای این روش استفاده از استانداردهای هر حوزه ،منطقه و یا کشور می‌باشد و این امکان را می‌دهد تا بر اساس تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شدهٔ موجود در هر استاندارد، طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد.

برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$BCWQI = \left[\sqrt{\left(F_1^2 + F_2^2 + (\frac{F_3}{3})^2\right)}\right]/1.453 \qquad (۱)$$

در این رابطه:

F_1 : درصد پارامترهایی که از حد معین تجاوز نموده‌اند.

F_2 : تعداد دفعاتی که در مجموع اندازه‌گیری‌ها از حد معین تجاوز نموده به صورت درصدی از کل دفعات برداشت.

F_3 : ماکزیمم تخطی از حد معین (حد استاندارد).

(۲) (حد ماکزیمم مجاز-مقدار اندازه‌گیری شده)] = درصد تخطی
۱۰۰× [مقدار اندازه‌گیری شده /

باید توجه داشت که هرگاه مقدار برداشت شده، کمتر از حد مینیمم مجاز بود می‌بایست از رابطه زیر برای به دست آوردن درصد تخطی استفاده شود

(۳) (مقدار اندازه‌گیری شده — حد ماکزیمم مجاز)] = درصد تخطی
۱۰۰× [مقدار اندازه‌گیری شده/

عدد ۱/۴۵۳ برای حصول اطمینان از رسیدن ماکزیمم عدد شاخص BCWQI به عدد ۱۰۰ انتخاب شده است. نکته مهمی که دقت شاخص BCWQI را بالا می‌برد، تکرار نمونه‌برداری و افزایش تعداد ایستگاههای برداشت می‌باشد. در مورد معایب این روش باید گفت که این شاخص، روند کیفی آب را تا زمانی که از حدود استاندارد تجاوز نکرده باشد، نشان نمی‌دهد. همچنین به علت استفاده از ماکزیمم تخطی (F_3)، مشخص نمی‌شود که چه تعداد از برداشتها در حدود بالای حد ماکزیمم استاندارد واقع شده‌اند. جدول ۲ بیان کننده حالات کیفی بر اساس مقدار شاخص BCWQI می‌باشد [۴ و ۶].

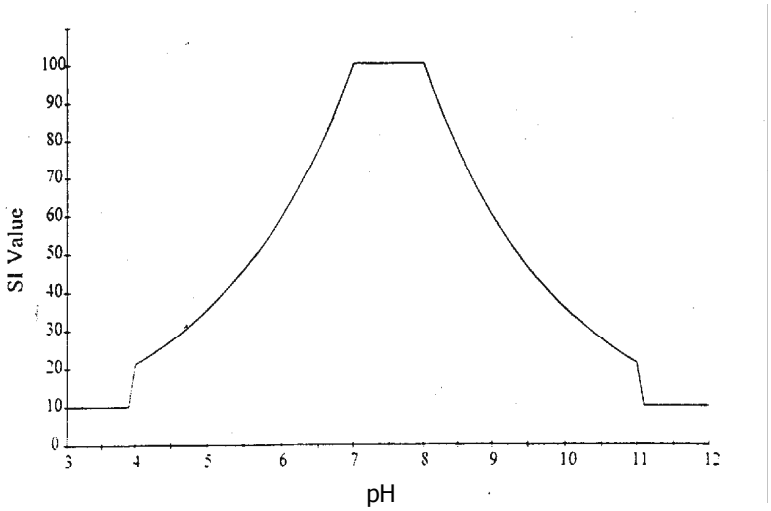
۲-۳- شاخص کیفی آب NSFWQI[2]

در سال ۱۹۷۰ با حمایت بهداشت ملی امریکا، براون[3] و همکارانش یک شاخص کیفی کاهشی را بر اساس نظرسنجی از

[1] British Columbia Water Quality Indices

[2] National Sanitation Foundation Water Quality Indices

[3] Brown



شکل ۱- منحنی تعیین زیر شاخص pH

تعداد زیادی از افراد متخصص با تخصصهای گوناگون در این زمینه ارائه نمودند. آنها در ابتدا حدود ۳۵ پارامتر آلودگی را معرفی کرده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص حدود ۹ پارامتر را برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب کردند. در مرحله بعد، ازهر یک از نظر دهندگان خواسته شد بر اساس هر یک از پارامترهای انتخاب شده سطح کیفی آب را بین صفر تا ۱۰۰ تقسیم‌بندی کند. برای مثال، شکل ۱ منحنی تعیین زیر شاخص pH آب را نشان می‌دهد. در ایجاد شاخص کلیNSFWQI برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر و یا زیرشاخص مربوط به آن، به هر یک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده شده است [۴].

برای محاسبهٔ شاخص نهایی ابتدا از جمع وزنی خطی زیرشاخصها استفاده شد (رابطه ۴)؛ لکن به علت وجود مشکلاتی در ساختار این نوع جمع‌بندی، نظیر مشکل تاریکی، رابطهٔ ۵ پیشنهاد گردید.

$$NSFWQI_a = \sum_{i=1}^{n} W_i I_i \qquad (۴)$$

$$NSWQI\ m = \prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i} \qquad (۵)$$

I_i : زیرشاخص i ام

W_i :ضریب وزنی زیرشاخص i ام

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی و گزارش شرایط آلودگی در رودخانه، پنج رنگ به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

نکته‌ای که در ایجاد نقشه پهنه‌بندی آلودگی رودخانه کارون ودز باید به آن توجه کرد عدم استفاده از پارامتر کدورت به علت کوچکی فاکتور وزنی آن و اندازه‌گیری این پارامتر با واحدی برحسب درصد است؛ زیرا همان‌طور که در قسمتهای قبل نیز به آن اشاره شد، در ایجاد یک شاخص باید هماهنگی واحدها و تأثیر آن بر روی شاخص کلی حفظ گردد. در جدول ۴ فاکتور وزنی مربوط به پارامترهای به کار رفته در این شاخص آمده است.

۲-۴- شاخص کیفی آب اورگان[1]

این شاخص کیفی در ایالت اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی کننده مسائل کیفی زیست‌محیطی در سال ۱۹۷۹ برای

[1] Oregon Water Quality Index

جدول ۲- توصیف کیفی آب رودخانه براساس شاخص BCWQI

مقدار شاخص	توصیف کیفی آب
۰-۳	عالی
۴-۱۷	خوب
۱۸-۴۳	مناسب
۴۴-۵۹	متوسط
۶۰-۱۰۰	ضعیف

ارزیابی شرایط و روند کیفی آب، ایجاد گردید. این شاخص که به صورت یک شاخص کاهشی می‌باشد، برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می‌شود. منحنیها و روابط تعیین زیرشاخصها در این شاخص همانند شاخصNSFWQI بر اساس نظرات اساتید فن به صورت توابع تغییر شکل لگاریتمی به وجود آمده است. نمونه‌ای از این منحنیها به صورت شکل ۱ آمده است. در زیر تعدادی از روابط ایجاد زیرشاخص از پارامترهای به کار رفته در این شاخص آمده است [۷ و۸]:

- زیرشاخص BOD_5

در این شاخص از یک تابع جمع‌بندی غیروزنی هارمونیک برای ایجاد شاخص کلی استفاده می‌شود. از اشکالات این نوع جمع‌بندی برای ایجاد شاخص کل، آن است که زیرشاخصهایی

جدول ۳- تفسیر آلودگی به روش NSFWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف	رنگ
۲۵-۰	بسیار بد	قرمز
۵۰-۲۶	بد	نارنجی
۷۰-۵۱	متوسط	زرد
۹۰-۷۱	خوب	سبز
۱۰۰-۹۱	عالی	آبی

جدول ۴- فاکتور های وزنی به کاررفته در شاخص NSFWQI

(بدون در نظر گرفتن پارامتر کدورت)

پارامتر	ضریب وزنی
DO	۰/۱۹
کلیفرم مدفوعی	۰/۱۷
pH	۰/۱۲
BOD_5	۰/۱۱
نیترات	۰/۱۱
فسفات	۰/۱۱
دما	۰/۱۱
TSS	۰/۰۸
جمع	۱

جدول ۵- توصیف کیفی آب براساس مقدار شاخص OWQI

مقدار شاخص	توصیف کیفی آب
کمتر از ۶۰	خیلی بد
۷۰-۶۰	بد
۸۴-۸۰	متوسط
۸۵-۸۹	خوب
۱۰۰-۹۰	عالی

جدول ۶- پارامترهای به کار رفته در شاخصهای NSFWQI ، BCWQI و OWQI

نام شاخص	دما	EC	کدورت	pH	TDS	پارامترهای کیفی						کل کلیفرم (TC)	کلیفرم مدفوعی	توضیحات
						DO	BOD_5	COD	PO_4	NO_3	NH_3+NO_3			
BCWQI		×	×	×	×	×	×	×	×	×		×		عدم کاربرد مستقیم پارامتر،قابلیت انعطاف با انواع استانداردهای محلی
$NSFWQI_m$	×				×	×	×		×	×			×	استفاده از فاکتور وزن برای هر پارامتر ، عدم وجود مشکل تاریکی و ابهام
OWQI	×				×	×	×		×		×		×	تحت‌الشعاع قرارگرفتن پارامترهای با اهمیت زیاد توسط پارامترهای کم اهمیت

$$BOD_5 \le 8mg/L : SI\ BOD_5 = 100\exp(BOD_5 * (-0.1993)) \quad (۶)$$

$$BOD_5 > 8mg/L : SI\ BOD_5 = 10 \quad (۷)$$

با ارزش کم، زیرشاخصهای مهم‌تر در تعیین وضعیت کیفی آب را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهند. این مسئله به دلیل عدم استفاده از ارزش عددی (وزن) بر اساس اهمیت هر زیرشاخص در ساختار شاخص OWQI می‌باشد.

$$OWQI = \frac{n}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} 1/SI_i^2}} \quad (۸)$$

n :تعداد زیرشاخص

SI_i : زیرشاخص i ام

جدول ۵ بیانگر توصیف آب بر اساس مقادیر عددی شاخص OWQI و جدول ۶، پارامترهای به کار رفته در شاخص‌های NSFWQI ، BCWQI و OWQI را نشان می‌دهد.

۳- مطالعه موردی

با توجه به مطالبی که در قسمتهای پیشین گفته شد، یکی از مراحل تکامل و پیشرفت شاخصهای کیفی آب مقایسه آنها با یکدیگر است. به همین منظور در این قسمت سعی خواهد شد تا ضمن معرفی ناحیهٔ جغرافیایی کارون و دز به بررسی وضعیت آلودگی این منطقه از طریق سه شاخص NSFWQI ، BCWQI و OWQI پرداخته شود. مسلماً برای آنکه بتوان به تحلیل درستی از نتایج به دست آمده بر روی رودخانه انتخابی رسید، این رودخانه باید دارای شرایط زیر باشد:

۱- طول مناسب؛

۲- تنوع فعالیتهای انسانی و طبیعی در مسیر رودخانه؛

۳- وجود ایستگاههای متعدد و معتبر در طول رودخانه؛

۴- اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز برای شاخصهای انتخابی و

۵- وجود سابقهٔ مطالعهٔ آلودگی بر روی رودخانه.

حوضه آبریز کارون و دز ، در مساحتی بالغ بر ۶۶۹۳۰ کیلومترمربع قرار دارد و این رودخانه در محدوده بین مختصات جغرافیایی ´۱۵ ،°۴۸ تا ´۳۰ ،°۵۲ طول شرقی و ´۱۷ ،°۳۰ تا ´۴۹ ،°۳۳ عرض شمالی واقع گردیده است. رودخانه کارون در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب اصفهان از رشته کوههای زاگرس سر چشمه گرفته و در شمال شهر شوشتر به دو شاخه گرگر و شطیط تقسیم می‌شود. این دوشاخه در محلی به نام بندقیر به هم پیوسته و با الحاق به رودخانه دز مجموعاً رودخانه کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. در مورد تعداد و انواع آلاینده‌های ورودی به رودخانه کارون و دز باید گفت که ۹ زهکش عمده، از آلاینده‌های کشاورزی، ۱۷ واحد صنعتی و ۳۷ محل تخلیه پساب فاضلابهای شهری از ۷ شهر مجاور آبراهه، پسابهای صنعتی ،کشاورزی و شهری خود را در آن محل تخلیه می‌کنند. برای بررسی سه شاخص یاد شده، ۱۲ایستگاه بر روی شاخه‌های اصلی رودخانه‌های کارون و دز انتخاب گردیده که از این تعداد، ۲ ایستگاه بر روی رودخانه دز و ۹ ایستگاه بر روی رودخانه کارون و ۱ ایستگاه بر روی اروندرود قرار دارند. لازم به ذکر است که آمارگیری در کلیه این ایستگاهها به صورت آمارگیری ماهیانه انجام شده است [۹].شکل ۲، موقعیت ایستگاههای اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

۳-۱- تحلیل پهنه‌بندی رودخانه بر اساس شاخصهای BCWQI ، OWQI و NSFWQI

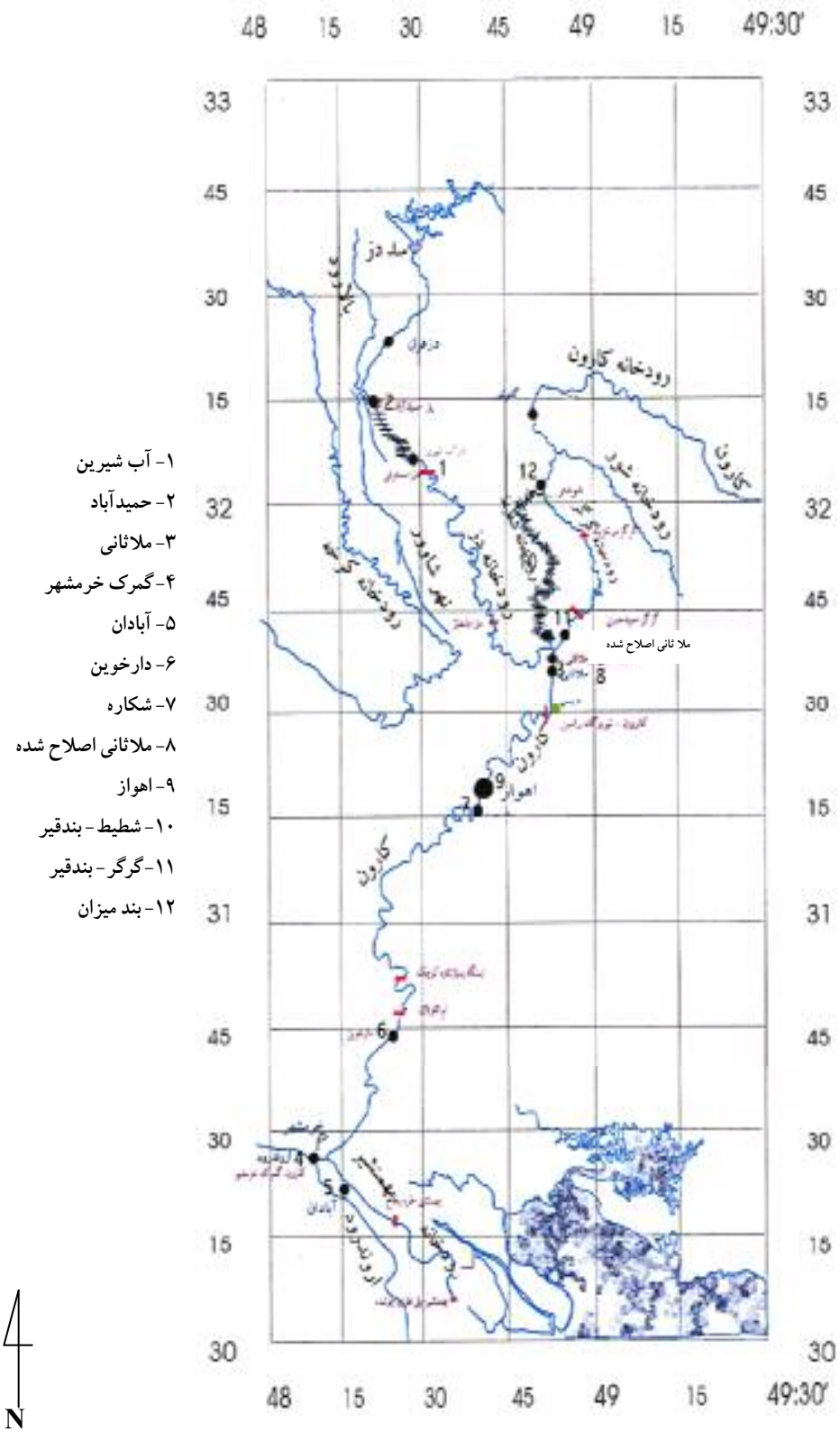
همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، با به کار بردن آمار ماهیانه در سالهای ۱۳۸۱ ، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ بر روی ایستگاههای مشخص شده بر روی شکل ۲، شاخص $NSFWQI_m$ در کلیه این ایستگاهها در محدوده ۲۸/۵۷ تا ۳۹/۹۹ قرار گرفته است. با مراجعه به جدول ۷، ایستگاههای موردنظر در دسته‌بندی بد قرار گرفته‌اند، در صورتی که با به کار بردن همین شاخص با فرمول حاصل جمع‌بندی وزنی ($NSFWQI_a$) این دسته‌بندی در کلیه ایستگاهها فرق کرده و به صورت جدول ۷ می‌باشد.

در مورد شاخص OWQI باید گفت که این شاخص در کلیه ایستگاههای اندازه‌گیری بین ۱۴ تا ۱۶/۱۵ می‌باشد که از لحاظ پهنه‌بندی رودخانه در دسته‌بندی خیلی بد قرار می‌گیرند. در مورد شاخص BCWQI نیز باید گفت که در این شاخص از استاندارد حفظ حیات آبی سازمان محیط‌زیست ایران استفاده شده است.

بر اساس شکل ۳ با حرکت در امتداد رودخانه دز از سمت شمال به جنوب و از ایستگاه پل حمیدآباد به سوی ایستگاه آب شیرین، شاخص BCWQI افزایش و شاخصهای NSFWQI و OWQI کاهش پیدا می‌کنند که با توجه به تعریف شاخصهای مربوطه، این امر بیانگر کاهش کیفیت آب می‌باشد. این افزایش و کاهش در شاخصها، باید به دلیل تراکم منابع آلاینده مختلف شامل: زهکشهای کشاورزی و پسابهای صنعتی مخصوصاً در اطراف ایستگاه آب شیرین و نهایتاً افزایش آلودگی می‌باشد. در ادامه بر روی ناحیه کارون شمالی (از شمال به جنوب) با شروع از ایستگاه بند میزان و از طریق رودخانه گرگر، شاخص BCWQI افزایش و شاخصهای NSFWQI و OWQI کاهش می‌یابد. این افزایش و کاهش در شاخصهای مربوطه به دلیل وجود منابع آلاینده و ایستگاههای پرورش ماهی در حاشیه رودخانه گرگر می‌باشد. بدین ترتیب از بالا دست به سمت پایین دست، با افزایش دبی متوسط ورودی آلاینده‌ها به رودخانه گرگر نسبت به رودخانه شطیط، افزایش آلودگی در رودخانه گرگر بیشتر می‌باشد. در این مناطق با توجه به کوهستانی بودن منطقه و افزایش شیب بستر رودخانه، میزان پخش‌شدگی آلودگی بین دو ایستگاه کاهش یافته و میزان آلودگی در ایستگاههای بالا دست، در ایستگاههای پایین‌دست نیز تأثیر می‌گذارد. در منطقه کارون مرکزی نیز به دلیل کاهش شیب بستر، میزان آلودگی در ایستگاههای پایین دست، تحت تأثیر آلودگی ایستگاههای بالا دست نمی‌باشد. در مورد دو ایستگاه شکاره و اهواز نیز باید گفت که به دلیل نزدیکی این دو ایستگاه به هم و به خاطر در پایین دست قرار گرفتن ایستگاه شکاره نسبت به ایستگاه اهواز، افزایش آلودگی در ایستگاه شکاره نسبت به ایستگاه اهواز بیشتر

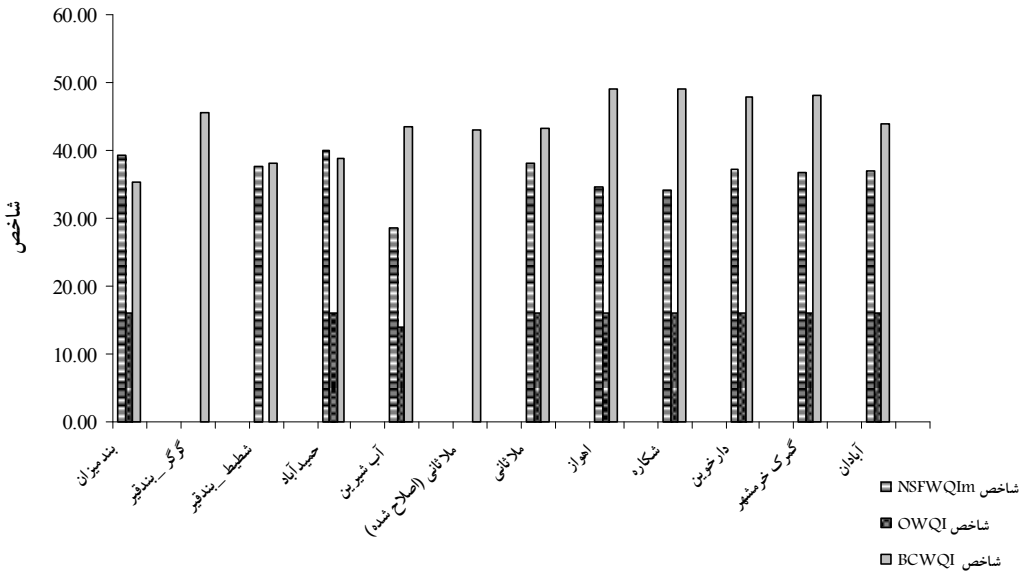
جدول ۷-تفسیر پهنه‌بندی رودخانهٔ کارون و دز بر اساس شاخص OWQI ، BCWQI و NSFWQI

شاخص		NSFWQI				BCWQI		OWQI	
		$NSFWQI_m$		$NSFWQI_a$					
	نام رودخانه / ایستگاه	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف
دز	آب شیرین	۲۸/۵۷	بد	۴۱	بد	۴۳/۵۶	مناسب	۱۴	خیلی بد
	حمیدآباد	۳۹/۹۹	بد	۵۵/۵۰	متوسط	۳۸/۸۰	مناسب	۱۶/۱۵	خیلی بد
	ملاثانی	۳۸/۱۷	بد	۵۵/۹	متوسط	۴۳/۳۱	مناسب	۱۶/۱۲	خیلی بد
	گمرک خرمشهر	۳۶/۶۹	بد	۵۳	متوسط	۴۸/۱۶	حد وسط	۱۶/۰۹	خیلی بد
	آبادان	۳۷/۰۹	بد	۵۳/۸	متوسط	۴۳/۸۷	حد وسط	۱۶/۱۰	خیلی بد
	دارخوین	۳۷/۱۹	بد	۵۳/۹۰	متوسط	۴۷/۹۸	حد وسط	۱۶/۱۰	خیلی بد
کارون	شکاره	۳۴/۱۷	بد	۴۹	بد	۴۹/۱۷	حد وسط	۱۵/۹۶	خیلی بد
	ملاثانی اصلاح شده	××××××	××××××	××××××	××××××	۴۳/۰۸	مناسب	××××××	××××××
	اهواز	۳۴/۷۰	بد	۵۰/۱۰	بد	۴۹/۰۶	حد وسط	۱۶/۰۲	خیلی بد
	شطیط-بندقیر	۳۷/۵۶	بد	۵۴/۷۰	متوسط	۳۸/۲۱	مناسب	××××××	××××××
	گرگر-بندقیر	××××××	××××××	××××××	××××××	۴۵/۶۵	حد وسط	××××××	××××××
	بند میزان	۳۹/۴۰	بد	۵۸/۸۰	متوسط	۳۵/۳۸	مناسب	۱۶/۱۳	خیلی بد



خط چین : مناسب
خط ممتد : حد وسط

شکل ۲- موقعیت ایستگاههای اندازه‌گیری و پهنه‌بندی رودخانه کارون و دز براساس شاخص BCWQI



شکل ۳- نمودار میله‌ای شاخصهای به کار رفته برروی رودخانهٔ کارون و دز

دیده می‌شود. همچنین به دلیل افزایش دبی منابع آلاینده در این منطقه، نسبت به منطقهٔ کارون شمالی شاخص BCWQI بیشتر و شاخصهای NSFWQI و OWQI کمتر می‌باشد. با ادامه مسیر از ایستگاه شکاره تا دارخوین به دلیل کاهش منابع آلاینده، از میزان آلودگی نیز کاسته می‌شود. در منطقه کارون جنوبی و درامتداد رودخانه اروند رود از آبادان به خرمشهر، به دلیل افزایش دبی ورودی منابع آلاینده، شاخص BCWQI افزایش و شاخصهای NSFWQI و OWQI کاهش می‌یابند. در این ناحیه به دلیل کاهش شیب بستر، میزان آلودگی در ایستگاههای پایین دست تحت تأثیر آلودگی موجود در ایستگاههای بالا دست نمی‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

همان طور که در قسمتهای پیشین نیز گفته شد، به کار بردن فاکتور وزنی برای هر پارامتر در ساختار شاخص اصلی و یا زیرشاخص تشکیل دهنده آن، باعث افزایش دقت در هنگام اخذ تصمیم‌گیریهای بعدی بر اساس آن می‌شود. این فاکتور وزنی بر اساس میزان تأثیر پارامترهای مربوطه در آن شاخص تعیین می‌گردد که خود باعث کاربرد شاخص در شرایط ویژه‌تری می‌شود. به همین دلیل از میان دوشاخص NSFWQI و BCWQI نتایج حاصل از شاخص $NSFWQI_m$، که در ساختار آن از فاکتور وزنی استفاده شده است، و نیز به دلیل عدم وجود ناحیه تاریکی، از دقت بالایی برخوردار خواهد بود. در مورد شاخص BCWQI ، یکی از عواملی که باعث می‌شود بتوان این شاخص را به عنوان شاخص منتخب در پهنه‌بندی رودخانه به کاربرد، عدم کاربرد مستقیم پارامترهای تشکیل دهنده آن می‌باشد؛ زیرا شاخص BCWQI بر اساس میزان درصد تخطی پارامتر اندازه‌گیری شده، نسبت به یک استاندارد خاص ایجاد می‌شود. این عامل باعث می‌گردد که افزایش و یا کاهش مقدار یک پارامتر تأثیر یکسانی بر روی شاخص کل داشته باشد. این در حالی است که در بعضی از کاربردهای این شاخص، افزایش و کاهش یک پارامتر اثر متفاوتی بر روی تصمیم‌گیری بر اساس شاخص موردنظر دارد (نظیر تعیین میزان زیبایی آب و یا سلامت آب بر روی انسان). افزایش تعداد ایستگاههای اندازه‌گیری در طول رودخانه و افزایش اندازه‌گیریها، از عواملی هستند که می‌تواند باعث بالا رفتن دقت پهنه‌بندی بر اساس این شاخص گردد. یکی دیگر از عواملی که در بالا بردن دقت یک شاخص در بیان شرایط کیفی آب مؤثر است، نحوه ترکیب پارامترهای دخیل در یک شاخص می‌باشد.

در مورد شاخص OWQI، باید گفت که این شاخص به دلیل نوع ساختار ریاضی شاخص کل، پارامترهایی که در این شاخص دارای اهمیت کمتری می‌باشند، از تأثیر بیشتری برخوردارهستند، به طوری که کوچک‌ترین تغییر در این پارامترها تأثیر زیادی بر روی شاخص کل خواهد داشت. با توجه به کلیه مباحث فوق، شاخص $NSFWQI_m$ به عنوان شاخص منتخب در پهنه‌بندی کیفی رودخانه پذیرفته می‌شود.

۵- مراجع

1- Ramirez, N. F., A., and Solano, F. (2004). "Phisico-Chemical Water Quality Indices - A Comparative Review. " *J. Revista BIFTUA, ISSN 0120*-4211, 19-30.

2- Landwehr, J.M., and Deininger, R.A. (1974). "A Comparision of Several Water Quality Indices." *J. Water Pollution Control Fed*. 48(5), 957-958.

۳- نوروزیان، ک. (۱۳۷۷). *پهنه‌بندی آلودگی رودخانه توسط تکنیک طبقه‌بندی فازی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف.

4- Ott, W.R. (1980). *Environmental Indices – Theory and Practice*, Arbor Sceince Publisher , Inc. Ann , Michigan.

5- ZandBerger,T.A., and Hall. K.G. (1998). "Water Quality Index for Watershed Manager. " *J. Water Qual. Res*., 33 (4),519-549.

6- Lands, and Parks (1996). *Water quality status report,* British Columbia, Ministry of Environment, Water Quality Section, Victoria.

7- Curtis, G.(2001). "Oregon Water Quality Index: A Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness. " *J. Journal of Water Reources Association*, 37(1), 125-135.

8- Curtis, G. (2002). "Reply to Discussion: Oregon Water Quality Index: A Tool for Evaluating Water Quality Management. " *J. Journal of Water Reources Association*, 38(1), 313-318.

۹- پروژه مدیریت زیست محیطی منابع آبی (۱۳۷۵). *رودخانه کارون*، سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان.